

51

Int. Cl.:

C 01 b, 5/00

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



52

Deutsche Kl.: 12 i, 5/00

10

11

21

22

43

Offenlegungsschrift 2300 499

Aktenzeichen: P 23 00 499.1-41

Anmeldetag: 5. Januar 1973

Offenlegungstag: 26. Juli 1973

Ausstellungspriorität: —

20

Unionspriorität

32

Datum: 10. Januar 1972

33

Land: V. St. v. Amerika

31

Aktenzeichen: 216714

64

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum thermischen Rekombinieren von dissoziiertem Wasserstoff und Sauerstoff

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: Universal Oil Products Co., Des Plaines, Ill. (V. St. A.)

Vertreter gem. § 16 PatG: Höger, W., Dr.-Ing.; Stellrecht, W., Dipl.-Ing. M. Sc.;
Grießbach, D., Dipl.-Phys. Dr.; Haecker, W., Dipl.-Phys.;
Patentanwälte, 7000 Stuttgart

72

Als Erfinder benannt: Bhan, Andrew Tej, Palatine, Ill. (V. St. A.)

Prüfungsantrag gemäß § 28 b PatG ist gestellt

DT 2300 499

39 907 b
4. Januar 1973
k - 133

2300499

UNIVERSAL OIL PRODUCTS COMPANY
Ten UOP Plaza-Algonquin & Mt.
Prospect Roads

Des Plaines, Illinois 60016
U S A

Verfahren und Vorrichtung zum thermischen Re-
kombinieren von dissoziiertem Wasserstoff und
Sauerstoff

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum thermischen Rekombi-
nieren von dissoziiertem Wasserstoff und Sauerstoff, insbe-
sondere für Kernreaktoren, bei denen aufgrund eines Verlustes
an Kühlmittel Wasser im Reaktorbehälter dissoziiert wird,
sowie eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.
Durch das erfindungsgemäße Verfahren sollen also Wasserstoff
und Sauerstoff bei hoher Temperatur thermisch unter Bildung
von Wasserdampf rekombiniert werden.

Bei Kernreaktoren, insbesondere Kernkraftwerken, welche Wasser als Kühlmittel verwenden, kann infolge eines Fehlers oder eines Unfalls ein Verlust des Kühlmittels auftreten, und man muß davon ausgehen, daß das Phänomen der sogenannten Radiolyse sowie Metall-Wasser-Reaktionen unter den bei derartigen Anlagen bzw. in einem solchen Fall herrschenden Bedingungen zu einer Dissoziation des Wassers und damit zur Entstehung von Wasserstoff und Sauerstoff führen können. Typischerweise würde ein solches dissoziiertes Gas etwa 21 % Wasserstoff (H_2), 5 % Sauerstoff (O_2) und als Rest in erster Linie N_2 enthalten. Bei Vorhandensein eines Sauerstoffüberschusses liegt die untere Explosionsgrenze für Wasserstoff bei etwa 4,1 %, während bei Vorhandensein eines Überschusses an H_2 die untere Explosionsgrenze für O_2 bei etwa 5 % liegt. Wenn einer dieser beiden Pegel erreicht wird, besteht die Gefahr einer Explosion in dem den eigentlichen Reaktor umgebenden Reaktorbehälter.

Ausgehend von der vorstehend aufgezeigten Problematik lag der vorliegenden Erfindung nunmehr die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, mit dessen bzw. deren Hilfe das Entstehen eines explosiven Wasserstoff-Sauerstoff-Gasgemisches in einem Behälter, insbesondere einem Reaktorbehälter, verhindert werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren, durch welches diese Aufgabe gelöst wird, ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

- a) Die das dissoziierte Wasser enthaltende Gasströmung wird mit einer Wasserdampf enthaltenden Gasströmung höherer Temperatur gemischt;

- b) die sich dabei ergebende gemischte Gasströmung höherer Temperatur wird in eine Rekombinationszone hoher Temperatur eingeleitet und dort flammenfrei erhitzt, um die Rekombination von Wasserstoff und Sauerstoff zu erreichen und eine Wasserdampf enthaltende Gasströmung zu erhalten;
- c) die Wasserdampf enthaltende Gasströmung wird aufgespalten und ein geregelter Anteil derselben wird zur Mischung mit der das dissoziierte Wasser enthaltenden Gasströmung gemäß Schritt a) zurückgeführt, wobei der rückgeführte Anteil in Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt der gemischten Gasströmung und/oder der unvermischten, das dissoziierte Wasser enthaltenden Gasströmung so bemessen wird, daß der Sauerstoffgehalt der in die Rekombinationszone eingeleiteten Gasströmung unter der unteren Grenze für eine Explosionsgefahr liegt.

Für die Durchführung dieses Verfahrens hat sich eine Vorrichtung besonders bewährt, die dadurch gekennzeichnet ist, daß eine langgestreckte Kammer vorgesehen ist, die mit Gaseinlaßeinrichtungen und mit Gasauslaßeinrichtungen verbunden ist, daß in der Kammer Einlaßkanäle vorgesehen sind, die mit Gasauslaßvorrichtungen im Inneren der Kammer einen Wärmetauscher bilden, daß in der Kammer zwischen den Einlaßkanälen und den Gasauslaßvorrichtungen eine Rekombinationskammer vorgesehen ist, die mit flammenfreien Heizeinrichtungen versehen ist, daß mit den Gaseinlaßeinrichtungen ein den Sauerstoffgehalt der der Kammer zugeführten, dissoziiertes Wasser enthaltenden, gemischten Gasströmung messender Sauerstoffanalysator mit Regeleinrichtungen verbunden ist, daß zwischen den Gaseinlaßeinrichtungen und den Gasauslaßeinrichtungen Rückführleitungseinrichtungen mit Regelventileinrichtungen vorgesehen sind, daß weitere Leitungseinrichtungen von den

ausgehen, welche Regelventileinrichtungen umfassen, die die Abgabe einer Wasserdampf enthaltenden Gasströmung aus dem System regeln und daß Einrichtungen vorgesehen sind, über die die mit dem Sauerstoffanalysator verbundene Regeleinrichtung mit jeder der Ventileinrichtungen verbunden ist, so daß die Anteile der Wasserdampf enthaltenden Strömung, welche zurückgeführt werden und welche das System verlassen, in Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt der Wasserstoff und Sauerstoff enthaltenden Gasströmung regelbar sind.

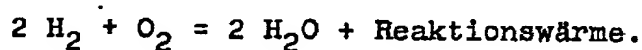
Ein wesentlicher Vorteil von Verfahren und Vorrichtung gemäß der Erfindung besteht darin, daß infolge der Rückführung derjenigen Gasmenge, die erforderlich ist, um den O_2 -Gehalt unterhalb einer Explosionsgrenze zu halten, keine Gase in die Atmosphäre abgeleitet werden müssen und somit die Gefahr einer radioaktiven Verseuchung ausgeschaltet wird. Dabei versteht es sich, daß nur eine Gasmenge zu dem Behälter zurückgeführt wird, welche gleich der entnommenen Gasmenge ist, und daß etwaige Überschüsse so weit abgekühlt werden, daß sich ein Kondensat ergibt, welches dem System entnommen werden kann.

Des weiteren ist es ein Vorteil von Verfahren und Vorrichtung gemäß der Erfindung, daß durch Wärmeaustausch eine weitgehende Rückgewinnung der Wärme erfolgt und daß bei der Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Rekombinationskammer und der Wärmetauscher in besonders vorteilhafter Weise zu einer Einheit zusammengefaßt sind. Als besonders vorteilhaft hat es sich auch erweisen, zur Regulierung der Aufteilung des aus der Rekombinationskammer bzw. aus dem Wärmetauscher austretenden Gasstroms einen Sauerstoffanalysator zu verwenden, welcher die Menge des zurückzuführenden Gases regelt.

Als besonders günstig hat sich bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung erwiesen, wenn eine elektrische Heizung unter

Verwendung elektrischer Heizwicklungen erfolgt, welche rund um die Rekombinationszone vorgesehen sind oder welche in Form von Widerstandsheizungen im Inneren der Rekombinationszone vorgesehen sein können, so daß sich eine indirekte flammenfreie Beheizung ergibt, bei welcher die hohe Temperatur entsteht, bei welcher die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff stattfinden kann. Das sich durch Rekombination ergebende, flammenfrei und ohne Explosion erzeugte Produkt, ein Gasstrom von H_2O (Wasserstoff) und Stickstoff wird dann zu dem Reaktorbehälter zurückgeleitet und außerdem der dissoziierten Gasströmung auf der Auslaßseite des Reaktorbehälters beigemischt, und zwar jeweils mit einem geregelten Anteil.

Die thermische Rekombination erfolgt gemäß der Gleichung:



Zusätzlich zu der Wärme, die vorzugsweise durch elektrische Heizung erzeugt wird, findet ein indirekter Wärmeaustausch zwischen der die dissoziierten Gase enthaltenden Gasströmung und der rekombinierten Gasströmung statt, wenn diese die Rekombinationskammer bzw. -zone verläßt. Es soll beispielsweise angenommen werden, daß die dissoziierte Gasströmung aus dem Reaktorbehälter eine Temperatur von etwa $93,3^\circ C$ besitzt und durch Wärmeaustausch mit der rekombinierten Gasströmung auf eine höhere Temperatur in der Größenordnung von etwa $400^\circ C$ oder mehr gebracht werden kann. Die externe elektrische Heizung ist dann erforderlich, um die Temperatur der Gasströmung auf etwa $593^\circ C$ anzuheben, um die Rekombination entsprechend der obigen Gleichung einzuleiten. Typischerweise führt die elektrische Heizung zusammen mit der Reaktionswärme dazu, daß der die Rekombinationszone verlassende Gasstrom, welcher dann in Wärmeaustausch mit der ankommenden, dissoziierten Gasströmung tritt, eine Temperatur von etwa $721^\circ C$ annimmt.

Aus Vorstehendem wird deutlich, daß die bei der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehene Wärmetauscher-Rekombinationskammer-Einheit von entscheidendem Wert und Vorteil ist, da mit einer günstigen Wärmerückgewinnung gearbeitet wird.

Die gewünschte Strömung durch die Wärmetauscherzone und die Rekombinationszone kann dadurch erzeugt werden, daß das dissoziierte Gas aus dem Reaktorbehälter einem Kompressor auf der Eingangsseite auf der Wärmetauscherzone zugeführt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß stromabwärts von der Rekombinationskammer mindestens eine Auslaßvorrichtung bzw. eine Strahlpumpe vorgesehen wird, um auf diese Weise eine Strömung durch den Wärmetauscher und durch die Rekombinationszone aufrechtzuerhalten. Ferner muß eine Strömung aufrechterhalten werden, um zumindest einen Teil der die Rekombinationszone verlassenden Gasströmung zur Mischung mit dem dissoziierten Gasstrom, der aus dem Reaktorbehälter abgezogen wird, zurückzuführen. Es ist mit anderen Worten nicht beabsichtigt, die vorliegende Erfindung auf die Verwendung von Kompressoreinrichtungen oder auf irgendwelche speziellen Einrichtungen zur Aufrechterhaltung einer Strömung durch die Rückführschleife bzw. durch die die Rekombinationszone enthaltende Schleife zu beschränken.

Es ist ein weiteres vorteilhaftes Merkmal von Verfahren und Vorrichtung gemäß der Erfindung, daß eine Sauerstoff-Analysiereinrichtung verwendet wird, welche mit Leitungseinrichtungen stromaufwärts von der Wärmetauscher-Rekombinations-Einheit verbunden ist, wodurch die Aufspaltung und Rückführung eines Teils der rekombinierten Strömung in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt in der dissoziierten Gasströmung erfolgen kann. Vorzugsweise ist die Sauerstoff-Analysiereinrichtung mit geeigneten elektrischen oder pneumatischen Steuer- bzw. Regleinrichtungen verbunden und kann ihrerseits Ventileinrichtungen betätigen, die sowohl in der Rückführschleife als auch

in einer Leitung vorgesehen sind, über die die Rückführung eines Teils der rekombinierten Gasströmung zu dem Reaktorbehälter erfolgt, und zwar derart, daß ein geregelter Anteil des Wasserdampf enthaltenden, kombinierten Gasstromes (der lediglich eine Spur Sauerstoff enthält) zur Mischung mit dem dissoziierten Gasstrom zurückgeführt werden kann, um den Sauerstoffpegel in der gemischten Gasströmung auf einem Pegel zu halten, bei welchem keine Explosionsgefahr droht.

Derjenige Teil der rekombinierten Strömung, welcher mit der dissoziierten Gasströmung gemischt wird, um die Rekombinationszone erneut zu durchlaufen, kann die hohe Temperatur beibehalten, die er beim Verlassen der Rekombinationszone besitzt oder diejenige Temperatur, die er bei Verlassen des Wärmetauschers aufweist. Derjenige Teil der rekombinierten Gasströmung, welcher zu dem Reaktorbehälter zurückgeleitet wird, wird jedoch vorzugsweise auf eine Temperatur von etwa $93,3^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Diese Kühlung kann in einem üblichen Rohrkühler erfolgen oder in einer anderen üblichen Kühlvorrichtung. Für den Fall, daß mindestens eine Strahlpumpe verwendet wird, um die Gasströmung durch die Rekombinationszone und durch die Rückkehrschleife zu bewirken, kann die Kühlwirkung des Wasserstrahls der Strahlpumpe ausreichend sein, so daß der die Strahlpumpe verlassende Gasstrom vor einer Rückleitung in den Reaktorbehälter nicht weiter abgekühlt werden muß. In diesem Fall wird es im allgemeinen lediglich erforderlich sein, überschüssiges Wasser aus der die Strahlpumpe verlassenden, abgekühlten Gasströmung zu entfernen, ehe ein geregelter Anteil derselben zu dem Reaktorbehälter zurückgeleitet wird.

Was die Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens anbelangt, so können verschiedene Formen von Wärmetauschern und Rekombinationskammern verwendet werden. In allen Fällen ist es jedoch vorteilhaft, die Ausdehnung von Rohren und Prallblechen im Inneren dieser Anordnungen zu berücksich-

tigen, um den hohen Temperaturen, die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auftreten, Rechnung zu tragen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Wärmetauscher-Rekombinations-Einheit sind langgestreckte, benachbarte Kanäle für einen indirekten Wärmeaustausch sowie Prallbleche vorgesehen, die für eine Umlenkung der Strömung sorgen, so daß auf die einströmende, dissoziierte Gasströmung eine optimale Wärmemenge übertragen wird, wodurch die Wärmemenge auf ein Minimum reduziert wird, welche von außen zugeführt werden muß, um die Gasströmung auf die Reaktionstemperatur zu bringen. Vorteilhafterweise kann auch eine Isolation verwendet werden, welche den Wärmetauscher sowie die Rekombinationszone umgibt, um so die Wärmeverluste in möglichst engen Grenzen zu halten.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand einer Zeichnung erörtert und/oder sind Gegenstand der Schutzansprüche. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, welche insbesondere für den Einsatz in Verbindung mit Kernreaktoren bzw. Kernkraftwerken gedacht ist und

Fig. 2 die wesentlichen Teile einer abgewandelten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

In Fig.1 der Zeichnung ist in gestrichelten Linien ein Reaktorbehälter 1 angedeutet, welcher mit einem Gasauslass 2 und mit einem Gaseinlass 3 versehen ist. Ferner ist mit dem Gasauslass eine Leitung 4 verbunden, über welche eine dissoziierte Gasströmung mit Hilfe eines Kompressors 5 in eine weitere Leitung 6 und in eine als Einheit ausgebildete Kammer 7 geleitet werden kann, die als Wärmetauscher und Rekombinationskammer dient.

Die Kammer 7 dient dazu, die Wasserstoff-Sauerstoff-Stickstoff-Strömung ($H_2 + O_2 + N_2$) aus dem Reaktorbehälter auf eine Reaktionstemperatur von etwa $593^{\circ}C$ zu bringen, so dass die erwünschte thermische Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff erfolgen kann, um Wasserdampf zu erzeugen. Schematisch betrachtet besitzt die Kammer 7 ein Kopfstück 8, welches durch eine Rohrplatte begrenzt wird, durch die eine Anzahl von Rohren 9 in das Kopfstück hineinragt, wobei die Rohre 9 ferner durch eine untere Rohrplatte 11 hindurchgreifen und jenseits dieser Rohrplatte in eine Rekombinationskammer hineinreichen. Die Rekombinationskammer 12 zur Durchführung der thermischen Rekombination wird vorzugsweise durch elektrische Widerstandsheizung beheizt, wobei entweder äussere oder innere Wicklungen vorgesehen sind. Letztere könnten beispielsweise sogenannte Calrod-Widerstände sein, so dass sich eine flammenfreie Form der Hochtemperaturerhitzung ergibt, um die gewünschte Reaktion zwischen dem Sauerstoff und dem Wasserstoff einzuleiten. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind elektrische Zuleitungen 13 dargestellt, welche mit einer Wärmesteuereinheit 14 verbunden sind, die ihrerseits über Leitungen 15 und 16 mit mindestens einer Widerstandswicklung 17 sowie über Leitungen 18 und 19 mit mindestens einer Widerstandswicklung 20 verbunden ist. Es versteht sich, dass die Zeichnung dies nur schematisch darstellt und dass die Erfindung nicht auf diese spezielle Ausführungsform beschränkt

ist. Ferner ist in Fig.1 ein Thermoelement 21 angedeutet, welches über eine Leitung 22 mit der Wärmesteuereinheit 14 verbunden ist, so dass eine geregelte elektrische Leistungszufuhr zu den Widerstandswicklungen 17 und 20 erfolgen kann, und zwar in Abhängigkeit von der in der Rekombinationskammer 12 erforderlichen Heizung.

Wie bereits eingangs erläutert, verlässt die rekombinierte Strömung die Rekombinationskammer 12 mit einer Temperatur in der Grössenordnung von etwa 720° C. Erfindungsgemäss wird nunmehr diese Gasströmung hoher Temperatur in vorteilhafter Weise ausgenutzt, indem man sie in dem als Wärmetauscher dienenden Teil der Kammer 7 zur Erwärmung der ankommenden dissoziierten Gasströmung verwendet. Zu diesem Zweck sind Prallbleche 23 und 24 vorgesehen, die die heisse, rekombinierte Strömung im Gegenstromverfahren mit den Rohren 9 in Kontakt bringen, um so eine optimale Wärmeübertragung auf die einströmende dissoziierte Strömung zu erreichen.

Ein Auslasstutzen 25 lässt die rekombinierte Strömung über eine Leitung 26 mit einem Ventil 27 zu einem Kühler 28 gelangen sowie zu einer Rückführleitung 29 mit einem Regelventil 30, und zwar derart, dass ein regulierter und gesteuerter Anteil der rekombinierten Strömung mit niedrigem Sauerstoffgehalt der wasserstoffhaltigen Strömung, die den Reaktorbehälter verlässt, beigemischt wird. Dieser Teil der rekombinierten Strömung, welcher über die Leitungen 26 und 29 in den Wärmetauscher der Kammer 7 zurückgeführt wird, kann auf einer hohen Temperatur bleiben. Derjenige Teil der rekombinierten Strömung, welcher in den Reaktorbehälter zurückgeführt wird, sollte jedoch vorzugsweise mit Hilfe geeigneter Kühleinrichtungen, die in der Lage sind, den zurückkehrenden Gasstrom auf eine Temperatur in der Grössenordnung von etwa $93,3^{\circ}$ C abzukühlen, abgekühlt werden.

M

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist zu diesem Zweck der Kühler 28 vorgesehen, welcher über eine Leitung 31 mit dem Gaseinlass 3 des Reaktorbehälters 1 verbunden ist.

Üblicherweise wird Wasser oder ein anderes billiges Kühlmittel niedriger Temperatur für den Kühler 28 bereitgestellt, um die Abkühlung der rekombinierten Gasströmung, welche zu dem Reaktorbehälter zurückgeleitet wird, zu bewirken.

Gemäss eines bevorzugten Merkmals der vorliegenden Erfindung ist ferner ein Sauerstoffanalysator 32 vorgesehen, der bei 33 mit dem Inneren der Leitung 4 in Verbindung steht, so dass an dieser Stelle eine kontinuierliche Analyse des Sauerstoffgehaltes in dem dissoziierten Gasstrom vor dem Wärmetauscher und der Rekombinationskammer erfolgen kann, um eine Betriebsweise sicherzustellen, bei welcher der Sauerstoffgehalt in dieser Gasströmung auf einem ausreichend niedrigen Pegel bleibt, um eine Explosionsgefahr auszuschliessen, wenn aus dem Reaktorbehälter 1 gleichzeitig freier Wasserstoff zugeführt wird. Der Sauerstoffanalysator 32 dient somit dazu, die Grösse der über die Leitung 29 zurückgeführten Gasmenge so zu regeln, dass der Sauerstoffgehalt in der Leitung 4 auf jeden Fall unterhalb von 5 % bleibt (d.h. unterhalb der unteren Explosionsgrenze für O_2 in Anwesenheit eines H_2 -Überschusses). Vorzugsweise wird zur Sicherstellung eines sicheren Betriebes der Sauerstoffgehalt unter 1 bis 2 % gehalten, um auf diese Weise einen Sicherheitsfaktor für den Betrieb des Systems zu gewinnen. Die Zeichnung zeigt in schematischer Weise, dass der Sauerstoffanalysator 32 mit einer Regeleinrichtung 34 verbunden ist, welche letztere über Leitungen 35 und 36 mit den Regelventilen 30 bzw. 27 in Verbindung steht. Die Regeleinrichtung kann elektrisch, elektronisch oder pneumatische Signale verarbeiten, um die ge-

wünschte Regelung der Regelventile 27 und 30 herbeizuführen und kann im übrigen in beliebiger Weise ausgestaltet sein. Ein wesentliches Merkmal der vorliegenden Erfindung besteht darin, den Anteil der Gasströmung durch die Leitung 29 durch Schliessen des Regelventiles 27 und Öffnen des Regelventiles 30 oder umgekehrt durch Öffnen des Regelventils 27 und durch Schliessen des Regelventils 30 zu regeln, und zwar in Abhängigkeit von dem verringerten oder erhöhten Bedarf für die Zuführung einer sauerstoffarmen Gasströmung zu der dissoziierten Gasströmung, die durch die Leitung 4 zu der Kammer 7 strömt. Der Sauerstoffanalysator 32 wird also mit anderen Worten Änderungen im Sauerstoffgehalt feststellen und die Regulierung und anteilmässige Aufteilung der über die Leitung 29 zurückgeführten Strömung vornehmen, um sicherzustellen, dass das Gemisch bzw. die Strömung in der Leitung 4 hinsichtlich seiner Zusammensetzung unter der Explosionsgrenze bleibt.

Zur Illustration der Arbeitsweise des erfindungsgemässen Systems sollen die folgenden Annahmen getroffen werden. Vorzugsweise wird das System mit Stickstoff unter einem Überdruck gehalten und steht bereit, einen dissoziierten Gasstrom aus dem Reaktorbehälter 1 aufzunehmen. Wenn dann ein Unfall passiert bzw. ein Fehler auftritt, hält der Kompressor 5 eine konstante Durchflussmenge durch die Leitung 4 aufrecht. Das Gas kann dabei eine Temperatur von etwa $93,3^{\circ}\text{C}$ aufweisen und die Durchflussmenge kann bei etwa 250 SCFM liegen.

Diese konstante Durchflussmenge mit einer Temperatur von etwa $93,3^{\circ}\text{C}$ wird dann in den Wärmeaustauscher der Kammer 7 einge-
leitet, wo an den Austrittsenden der Rohre 9 eine Temperatur von etwa 400°C erreicht werden kann. In der Rekombinationskammer 12 wird dann durch elektrische Heizung eine Temperaturerhöhung von etwa 400°C auf mindestens etwa 593°C durchge-

führt, so dass der Wasserstoff und der Sauerstoff miteinander unter Bildung von Wasserdampf rekombinieren können. Die sich dabei ergebende rekombinierte Strömung besitzt bei ihrem Austreten aus der Rekombinationskammer 12 eine Temperatur von etwa 721°C und kann durch die axiale Zone 12' in das mit Prallblechen versehene Innere des Wärmetauschers gelangen, wo sie die Rohre 9 umströmt, um schliesslich mit einer Temperatur von etwa 371°C die Kammer 7 über die Leitung 26 zu verlassen. Das etwa 700°C warme Gas der rekombinierten Strömung kann ohne eine Abkühlung über die Leitung 29 zu der Leitung 4 zurückgeleitet werden, um dort mit der dissoziierten Strömung gemischt zu werden. Derjenige Teil der rekombinierten Strömung, welcher über die Leitung 31 zu dem Reaktorbehälter 1 zurückgeführt wird, wird jedoch mit Hilfe des Kühlers 28 auf eine Temperatur von etwa $93,3^{\circ}\text{C}$ abgekühlt.

Typischerweise erhält man in dem System einen relativ niedrigen Druck aufrecht, beispielsweise einen Druck in der Grössenordnung von 0,35 bis $0,7\text{ kg/cm}^2$, obwohl ein höherer Druck in dem System dazu beitragen würde, die Anfangstemperatur, die erforderlich ist, um das Rekombinieren in der Rekombinationskammer einzuleiten, abzusinken. Es ist ferner wünschenswert, zu dem Reaktorbehälter ein Gasvolumen zurückzuleiten, welches im wesentlichen gleich dem Gasvolumen ist, welches aus dem Reaktorbehälter abgesaugt wird. Wenn also aus dem Reaktorbehälter zunächst eine Durchflussmenge von etwa 50 SCFM austritt, dann wird eine gleich grosse Menge zu ihm zurückgeleitet.

In Abhängigkeit von der Sauerstoffkonzentration in der dissoziierten Strömung kann in der 250-SCFM-Strömung, die von dem Kompressor 5 in die Kammer 7 gepumpt wird, ein mehr oder weniger grosser Anteil an über die Leitung 29 zurückgeführ-

ten Gasen vorhanden sein. Mit anderen Worten, kann bei einem Fehler, der einen Verlust an Kühlmittel mit sich bringt, bei einem Abfall der Sauerstoffkonzentration auf der Ansaugseite des Kompressors 5, beispielsweise bei einem Abfall der Sauerstoffkonzentration auf 1 oder 2 %, der Sauerstoffanalysator über die zugeordneten Regeleinrichtungen das Öffnen und Schliessen der Regelventile 27 und 30 so regeln, dass vom Reaktorbehälter 1 aus gesehen, ein grösseres Gasvolumen verarbeitet werden kann.

Ein System mit einer Rückführschleife, wie es erfindungsgemäss vorgeschlagen wird, besitzt theoretisch keine Kapazitätsgrenze. Die angegebenen Werte für die Durchflussmengen sind lediglich typisch bzw. die nach zuverlässigen Schätzungen höchsten Werte, mit denen gerechnet werden muss.

In der Praxis muss das System lediglich in der Lage sein, Sauerstoff und Wasserstoff mit einer Geschwindigkeit zu entfernen, die grösser ist als die maximale Geschwindigkeit, mit der die Erzeugung von neuem Wasserstoff und Sauerstoff infolge der Radiolyse und der Zirkon-Wasser-Reaktion erfolgt. Das System ist darüberhinaus stabil, da es unerwünschte Sauerstoffkonzentrationen korrigieren kann. Wenn die Situation in dem Reaktorbehälter unter Kontrolle gebracht wird, beginnt das System zunehmend grössere Gasmengen zu verarbeiten, so dass es optimalen Gebrauch von seinen Vorteilen macht. Bei dem erfindungsgemässen System mit Rückführschleife verlässt man sich anders als bei der sogenannten "Einmal-Durch (once-through)"-Einheit nicht darauf, dass es möglich ist, die Gase abzulassen, nachdem sie für eine Halbwertszeit der radioaktiven Komponenten aufgehalten wurden. Hierdurch wird die Gefahr, dass aus dieser Quelle radioaktive Emissionen erfolgen, die oberhalb eines zulässigen Pegels liegen, auf ein Minimum abgesenkt.

AS

2300499

In Fig.2 der Zeichnung ist eine modifizierte Vorrichtung mit geänderter Leitungsführung gezeigt, in welcher die Leitung 4 direkt mit der Kammer 7 verbunden ist und in der ferner die Auslassleitung 26 mit dem Regelventil 27 einerseits mit einer ersten Auslassvorrichtung bzw. einer ersten Strahlpumpe versehen ist und andererseits über die Rückführleitung 27 mit einer zweiten Auslassvorrichtung 42. Die erste Auslassvorrichtung 37 ist über eine Leitung 38 mit einem Separator bzw. einer "knock-out"-Kammer verbunden, deren Auslass über eine Leitung 31 mit dem Reaktorbehälter 1 verbunden ist. Aus dem Separator 39 wird überschüssiges Wasser über eine Leitung 40 mit einem Ventil 41 abgeleitet. Die Rückführung eines Teils der rekombinierten Strömung durch die Leitung 29 zur Leitung 4 wird durch die zweite Auslassvorrichtung bzw. Strahlpumpe 42 unterstützt, welche sich zu der Leitung 29' und einem weiteren Separator 43 öffnet, der über eine Leitung 44 mit der Leitung 4 verbunden ist. In der Zeichnung ist schematisch ein Wasserstrahl von der Leitung 45 mit dem Regelventil 46' zu der ersten Strahlpumpe 37 angedeutet sowie ein Wasser- oder Dampfstrahl von der Leitung 46 mit dem Regelventil 47 zu der zweiten Strahlpumpe 42.

Bezüglich der Steuerung der Aufteilung der Anteile der rekombinierten Gasströmung für die Rückführung zur Leitung 4 und die Rückführung zum Reaktorbehälter 1 ist die Betriebsweise ähnlich wie bei der Ausführungsform gemäss Fig.1, da die Regelventile 27 und 30 sowie die Ventile 46' und 47 zur Steuerung der Wasserstrahlen für die Strahlpumpen in Abhängigkeit von den Analyseergebnissen des Sauerstoffanalysators 32 in der vorstehend beschriebenen Weise eingestellt werden. Dabei sorgen zusätzliche Regelleitungen 35' und 36' dafür, dass die Strömung durch die Strahlpumpen in richtiger Weise mit der Einstellung der Ventile verknüpft ist. Insgesamt zeigt das

Ausführungsbeispiel gemäss Fig.2 jedoch ein abgewandeltes System zur Aufrechterhaltung einer rezirkulierenden Strömung von und zu dem Reaktorbehälter sowie eine Rückführschleife zur Verringerung des Sauerstoffgehaltes in dem der Kammer 7 zugeführten Gasstrom, wobei anstelle eines Kompressors, wie er in Fig.1 verwendet wird, die einzelnen Strömungen mit Hilfe der Strahlpumpen 37 und 42 aufrecht erhalten werden. Da die zweite Strahlpumpe 42 einen Temperaturabfall des über die Rückführschleife zurückgeführten Gases mit sich bringt, ist es ferner ein entscheidender Vorteil, dass die Wärmetauscheranordnung für die dissoziierte Strömung vor der Rekombinationskammer liegt.

Bei einer weiteren erfindungsgemässen Vorrichtung könnte ferner eine Strahlpumpe in der Leitung 4, und zwar vor dem Wärmetauscher und der Rekombinationskammer der Kammer 7, angebracht sein, wobei infolge dieser Anordnung eine einzige Strahlpumpe die beiden getrennten Strahlpumpen 37 und 42 ersetzen könnte, die bei der Ausführungsform gemäss Fig.2 auf der Auslassseite der Rekombinationskammer 12 vorgesehen sind. Mit anderen Worten können also anstelle eines Kompressors in der Leitung 4 andere Einrichtungen für die Aufrechterhaltung der Strömung vorgesehen werden, wie z.B. ein oder mehrere Strahlpumpen.

Es versteht sich, dass dem Fachmann zahlreiche Möglichkeiten zu Gebote stehen, das erfindungsgemässe System, welches vorstehend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert wurde, abzuwandeln. So könnte z.B. mindestens teilweise auf Wärmetauscher verzichtet werden, während gleichzeitig entsprechend stärkere Heizvorrichtungen vorgesehen werden müssten. Ausserdem können die einzelnen Einrichtungen durch äquivalente Einrichtungen bzw. Verfahren ersetzt werden, und es sind insbesondere verschiedene Änderungen in den konstruktiven Details möglich. Beispiels-

weise können auch andere Rohranordnungen und Wärmetauscherströmungen bzw. Prallblechanordnungen vorgesehen werden als dies bei der Kammer 7 gemäss den Ausführungsbeispielen der Fall ist. Ebenso sind Variationen in der Heizung der thermischen Rekombinationskammer möglich, und es ist auch möglich, verschiedene Arten von Sauerstoffanalysatoren und Regeleinrichtungen vorzusehen, um eine regulierte und den richtigen Anteil umfassende Rückführströmung zu erhalten, und zwar in Abhängigkeit von dem Sauerstoffpegel derart, dass ständig ein sicherer niedriger Sauerstoffpegel vorhanden ist, der Explosionen in dem System verhindert.

P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Verfahren zum ther ischen Rekombinieren von dissoziiertem Wasserstoff und Sauerstoff, insbesondere für Kernreaktoren, bei denen aufgrund eines Verlustes an Kühlmittel Wasser im Reaktorbehälter dissoziiert wird, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:
 - a) Die das dissoziierte Wasser enthaltende Gasströmung wird mit einer Wasserdampf enthaltenden Gasströmung höherer Temperatur gemischt;
 - b) die sich dabei ergebende gemischte Gasströmung höherer Temperatur wird in eine Rekombinationszone hoher Temperatur eingeleitet und dort flammenfrei erhitzt, um die Rekombination von Wasserstoff und Sauerstoff zu erreichen und eine Wasserdampf enthaltende Gasströmung zu erhalten;
 - c) die Wasserdampf enthaltende Gasströmung wird aufgespalten und ein geregelter Anteil derselben wird zur Mischung mit der das dissoziierte Wasser enthaltenden Gasströmung gemäss Schritt a) zurückgeführt, wobei der rückgeführte Anteil in Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt der gemischten Gasströmung und/oder der unvermischten das dissoziierte Wasser enthaltenden Gasströmung so bemessen wird, dass der Sauerstoffgehalt der in die Rekombinationszone eingeleiteten Gasströmung unter der unteren Grenze für eine Explosionsgefahr liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gemischte Gasströmung im indirekten Wärmeaustausch mit der die Rekombinationszone verlassenden Wasserdampf enthaltenden Gasströmung gebracht wird, um sie zu erhitzen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 für Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, dass von der Wasserdampf enthaltenden Gasströmung ein Anteil in den Reaktorbehälter zurückgeleitet wird, der ^{der} aus dem Reaktorbehälter ausströmenden Gasmenge im wesentlichen äquivalent ist und dass dieser Anteil zuvor auf eine Temperatur von zirka $93,3^{\circ}$ C abgekühlt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3 für Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, dass der gemischte Gasstrom durch einen Kompressor geleitet wird, welcher der Rekombinationszone eine im wesentlichen gleichförmige, maximale Gasmenge zuführt, so dass in dem System ein gleichbleibendes Volumen aufrecht erhalten werden kann und so dass die zum Reaktorbehälter zurückgeleitete Gasmenge der aus dem Reaktorbehälter entnommenen Gasmenge im wesentlichen äquivalent ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4 für Kernreaktoren, dadurch gekennzeichnet, dass die flammenfreie Erhitzung so durchgeführt wird, dass sich eine Anfangstemperatur von etwa 593° C ergibt und dass für die die Rekombinationszone verlassende, Wasserdampf enthaltende Gasströmung zwei Kühlstufen vorgesehen sind, nämlich ein Wärmeaustauscher zur Abgabe von Wärme an die zur Rekombinationszone fließende gemischte Gasströmung und eine weitere Wärmetauscher- bzw. Kühleinrichtung für die zum Reaktorbehälter zurückgeleitete Gasströmung, die auf etwa $93,3^{\circ}$ C abgekühlt wird.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine langgestreckte Kammer (7) vorgesehen ist, die mit Gaseinlasseinrichtungen (4, 5, 6) und mit Gasauslasseinrichtungen (Leitung 26) verbunden ist, dass in der Kammer (7) Einlasskanäle (Rohre 9) vorgesehen sind, die mit Gasauslassvorrichtungen (Prallbleche 23, 24) im Inneren der Kammer (7) einen Wärmetauscher bilden, dass in der Kammer (7) zwischen den Einlasskanälen (Rohre 9) und den Gasauslassvorrichtungen (Prallbleche 23, 24) eine Rekombinationskammer (12) vorgesehen ist, die mit flammenfreien Heizeinrichtungen (Widerstandswicklungen 17, 20) versehen ist, dass mit den Gaseinlasseinrichtungen (4) ein den Sauerstoffgehalt der der Kammer (7) zugeführten dissoziiertes Wasser enthaltenden, gemischten Gasströmung messender Sauerstoffanalysator (32) mit Regeleinrichtungen (34) verbunden ist, dass zwischen den Gaseinlasseinrichtungen (4, 5, 6) und den Gasauslasseinrichtungen (Leitung 26) Rückführleitungseinrichtungen (29) mit Regelventileinrichtungen (30) vorgesehen sind, dass weitere Leitungseinrichtungen (Leitung 31) von den Gasauslasseinrichtungen (Leitung 26) ausgehen, welche Regelventileinrichtungen (27) umfassen, die die Abgabe einer Wasserdampf enthaltenden Gasströmung aus dem System regeln und dass Einrichtungen (Leitungen 35, 36) vorgesehen sind, über die die mit dem Sauerstoffanalysator (32) verbundene Regeleinrichtung (34) mit jeder der Ventileinrichtungen (27, 30) verbunden ist, so dass die Anteile der Wasserdampf enthaltenden Strömung, welche zurückgeführt werden und welche das System verlassen, in Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt der Wasserstoff und Sauerstoff enthaltenden Gasströmung regelbar sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Kammer (7) Kompressionseinrichtungen 5 vorgesehen sind, welche eine vorgegebene Menge der gemischten Gasströmung in die Kammer (7) leiten und den nötigen Druck für die Rückführung und die Weiterleitung der Anteile der wasserdampfhaltigen Gasströmung erzeugen.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung der Gasströmungen in der Kammer (7) in den Rückführeinrichtungen (29, 29') und in den Einrichtungen (38) zur Weiterleitung einer Gasströmung mindestens eine Strahlpumpe (37, 42) vorgesehen ist (Fig. 2).
9. Vorrichtung nach Anspruch 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Auslassseite des Systems (Leitung 26) Kühleinrichtungen (28) vorgesehen sind, um einen Anteil der wasserdampfhaltigen Gasströmung, welcher in den Reaktorbehälter (1) zurückgeleitet wird, ein zweites Mal abzukühlen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Sauerstoffanalysator (32) Einrichtungen (33) zur Gasprobenentnahme umfasst, die mit den Gaseinlasseinrichtungen (4) verbunden sind, dass die Einrichtungen (33) zur Gasprobenentnahme mit dem Sauerstoffanalysator (32) verbunden sind, welcher Signale zu Regeleinrichtungen (34) liefert, die ihrerseits antreibbare Regeleinrichtungen für Regelventileinrichtungen (27, 30) bilden, so dass sich die gewünschten Strömungsanteile in den Rückführeinrichtungen (29) und den Auslasseinrichtungen (31) ergeben und so dass in der gemischten Strömung auf der Einlassseite der Kammer (7) ein niedriger Sauerstoffanteil aufrecht erhalten wird, wodurch im Hinblick auf die vorhandenen Wasserstoffmengen das Gasgemisch unter der unteren Explosionsgrenze gehalten wird.

- - - -

22
Leerseite

2300499

Fig. 1

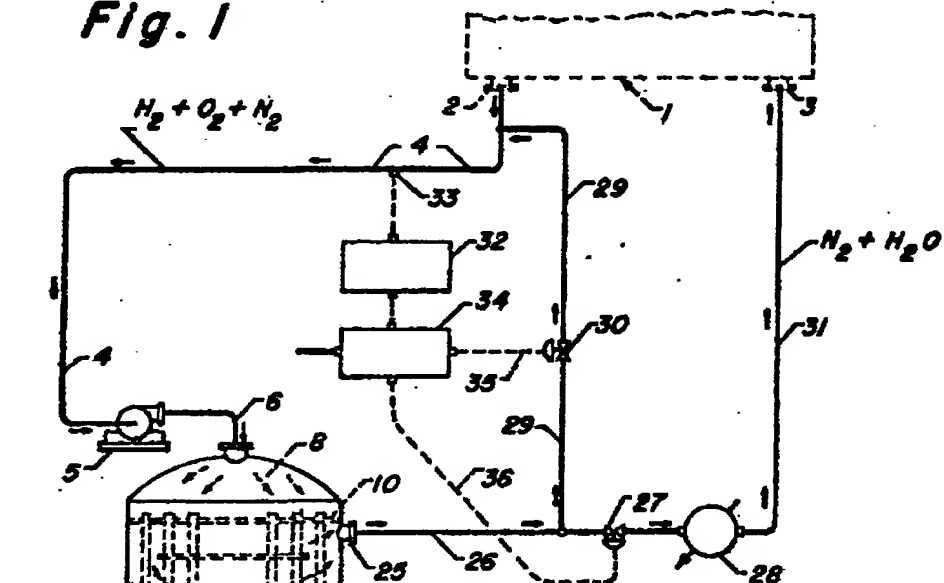
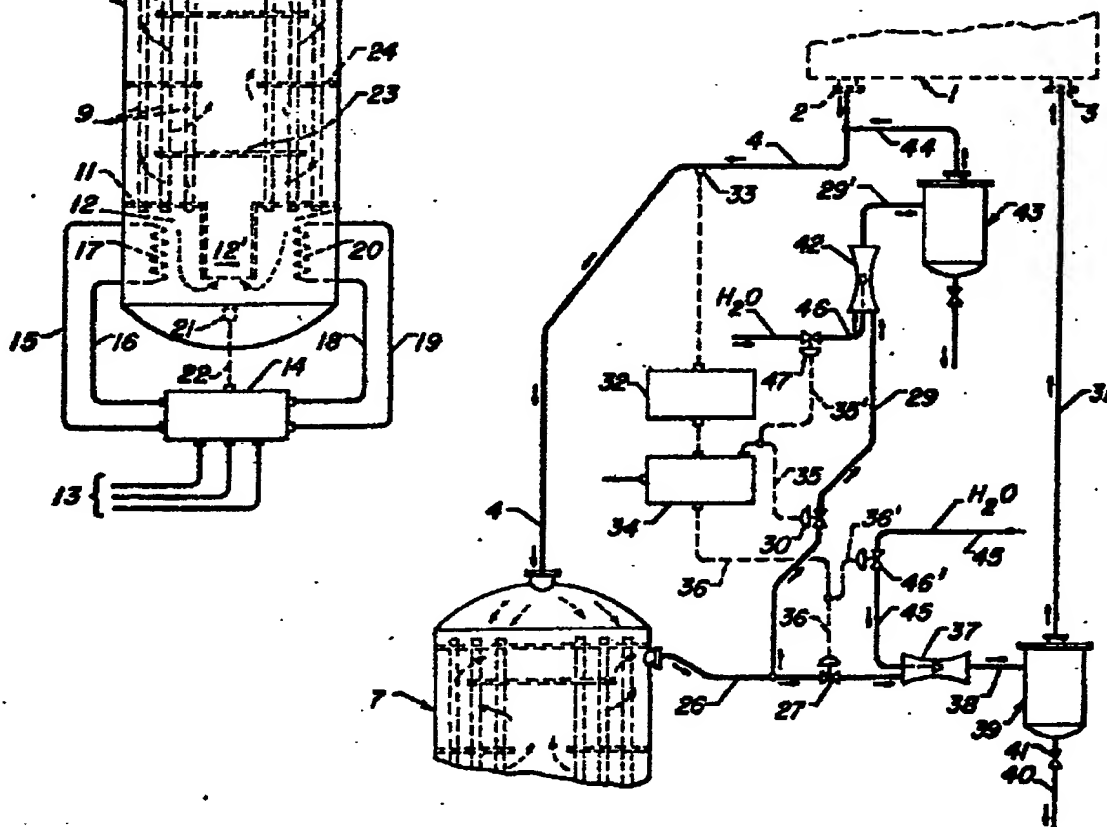


Fig. 2



Docket # GR98P3781P

Applic. # 09/821,858

Applicant: Berndt Eckardt et al.

Lerner and Greenberg, P.A.

Post Office Box 2480

Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101

309830/0861

ORIGINAL INSPECTED